

Pengaruh Milling Time Terhadap Pembentukan Intermetalik γ -TiAl Sebagai Reinforced Dalam Metal Matrix Composite (MMCs) Hasil Mechanical Alloying

Mohammad Badrus Soleh¹, dan Hariyati Purwaningsih²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ²Staf Pengajar Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh
Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: hariyati@mat-eng.its.ac.id

Abstrak—Paduan TiAl mempunyai berbagai keunggulan dalam sifat mekanik serta sifat termal. Senyawa intermetalik γ -TiAl mempunyai sifat mekanik dan sifat termal yang sangat baik sehingga sesuai apabila diaplikasikan sebagai penguat pada metal matrix composite (MMCs). Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis paduan TiAl sehingga terbentuk fasa intermetalik γ -TiAl yang homogen. Sintesa dilakukan dengan metode mechanical alloying menggunakan modification horizontal ball mill dengan komposisi paduan Ti-36%wt Al dan variasi milling time 0,10,20 jam dengan kecepatan tetap 350rpm. Hasil milling dikompaksi dan diannealing pada temperatur 900°C selama 30menit. Fasa intermetalik γ -TiAl terbentuk setelah proses mechanical alloying 20 jam. Hasil pengujian difraksi sinar X menunjukkan ukuran kristal sebesar 198.92Å pada fasa γ -TiAl, memiliki kekerasan 678,1HV.

Kata Kunci—Kekerasan, Koefisien termal ekspansi, Mechanical alloying, Milling Time, Senyawa γ -TiAl.

I. PENDAHULUAN

Komposit matriks logam dalam penggunaannya meningkat pada berbagai struktur penting serta aplikasi terhadap ketahanan aus dikarenakan kekuatannya yang sangat tinggi dengan perbandingan berat dari material itu sendiri serta sifat mekaniknya yang menarik, biasanya MMCs digunakan penguat *continous fibear*, *discontinuous partikel* and *wiskers*[1]. Aplikasi dari senyawa intermetalik γ -TiAl sangat banyak, namun pada penelitian ini dikhususkan sebagai penguat pada MMCs. Komposit berdasarkan bahan matriks yang digunakan yaitu matriks logam, matriks polimer, matriks keramik. Sementara untuk aplikasi matriks logam sendiri sangat banyak diantaranya sebagai industri ruang angkasa, matabor, rem, blok mesin dsb [2]. Terdapat beberapa metode dalam pembuatan/produksi γ -TiAl salah satunya yaitu dengan metode metalurgi serbuk yang didalamnya terdapat proses *mechanical alloying*. *Mechanical alloying* (MA) merupakan metode metalurgi serbuk dengan melibatkan dua serbuk penyusun atau lebih dengan distribusi ukuran yang heterogen dan akan mempengaruhi sifat material serta mekanisme pembentukan suatu material sehingga menghasilkan perubahan ukuran butir dan ukuran kristal, serta homogenitas material menjadi lebih baik. Mechanical alloying dapat

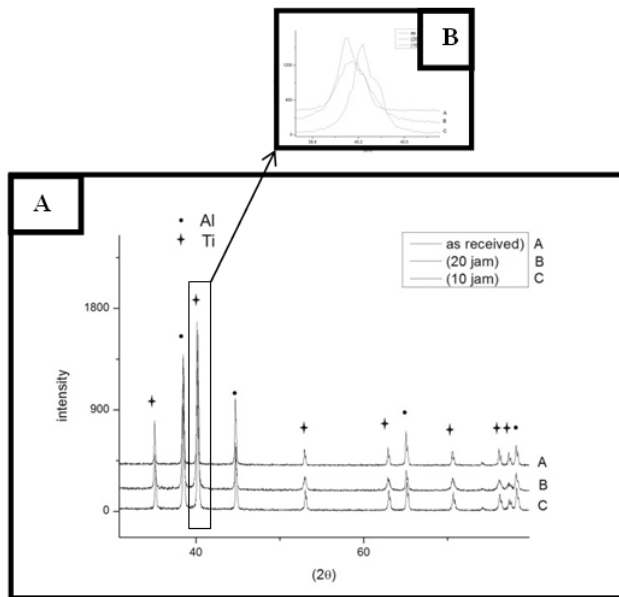
digunakan untuk menghasilkan fasa amorfus yang berbeda, senyawa intermetalik, *solid solution*, atau paduan *nanocrystalline* [3]. Keuntungan dari *mechanical alloying* adalah efisien dalam produksi skala kecil dan hemat energi. Akan Tetapi dalam beberapa penelitian menunjukkan adanya permasalahan pada komposisi kimia, *homogenity*, dan ukuran butir atom dikarenakan *ball mill* dapat menyebabkan deformasi plastis dan efek *welding* yang berlebih pada serbuk TiAl. Sehingga terdapat dua metode untuk mencegah permasalahan di atas yaitu dengan menurunkan temperatur pada saat *milling* dan penggunaan dari PCA pada serbuk [4].

Paduan titanium dengan kekuatan tinggi untuk aplikasi struktur umumnya berbentuk paduan dua fasa a+b. Sifat mekanik dari paduan ini sangat sensitif terhadap strukturmikro dan pada banyak kasus juga sensitif terhadap karakteristik kristalografi. Hubungan antara strukturmikro dan sifat mekanik pada metalurgi serbuk paduan Ti diluar *powder forging* adalah masalah yang perlu diselesaikan pada produksi *connecting rod* kualitas tinggi [5].

Berdasarkan penelitian sebelumnya [6], bahwa Kecepatan *milling* yang efektif penggunaannya untuk alat *milling* jenis *Modification Horizontal Ball Mill* adalah pada rentang kecepatan ± 400 rpm. Untuk waktu *milling* yang digunakan masih belum bisa ditentukan karena tidak banyak hasil yang bisa diperlihatkan dikarenakan dominasi pengaruh kecepatan *milling* lah yang menentukan keefektifan penggunaan alat *milling* tersebut, oleh karena itu dalam penelitian ini menggunakan variabel waktu sehingga ditemukan waktu yang tepat pada *mechanical alloying* yang nantinya diperoleh senyawa intermetalik γ -TiAl yang sesuai sebagai penguat dalam matriks komposit logam. Transformasi struktur dendritik pada γ -TiAl yang diberi perlakuan *annealing* terhadap γ -TiAl yang dileburkan kembali dengan proses *laser remelting* transformasi mikrostruktur yang terbentuk pertamakali adalah intergranular setelah itu berkembang menjadi struktur dendrit transgranular dan terakhir menjadi butir *equiaxed* yang sangat halus [7].

II. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan memadukan unsur Ti kemurnian 98% sejumlah 0.64gr dengan unsur Al kemurnian 90% sejumlah 0.36gr. melalui proses *mechanical alloying* dengan menggunakan alat *modification ball mill* pada



Gambar 1 (A) Ploting hasil XRD untuk perubahan fasa serbuk Ti-36%wt Al hasil *mechanical alloying* pada masing-masing variabel (B) *Single peak analysis* pada unsur Ti.

kecepatan konstan 350 rpm serta perbandingan berat bola milling dengan berat serbuk adalah 10:1. Serbuk paduan dimasukkan kedalam vial serta ditambahkan PCA (proses control agent) Methanol sebanyak 10ml dan dialirkan gas argon secukupnya kedalam vial agar terhindar dari oksigen dan tidak terjadi *cold weld*, setelah itu dilakukan proses *mechanical alloying* dengan variasi *milling time* 0, 10, 20 jam. Hasil dari *mechanical alloying* diuji XRD dan SEM-EDX untuk mengetahui perubahan fasa, ukuran kristal serta morfologi serbuk hasil milling. Selanjutnya serbuk paduan pada masing-masing variabel dikompaksi dengan tekanan 3000psi dan diannealing pada temperatur 900°C-holding time 30menit dalam kondisi vacum. Dari hasil annealing dilakukan pengujian XRD dan uji SEM untuk mengetahui perubahan fasa dan morfologinya, serta dilakukan uji Mikrostruktur dan Mikrohardness Vickers sesuai dengan ASTM E384-99 untuk mengetahui sifat mekaniknya [8].

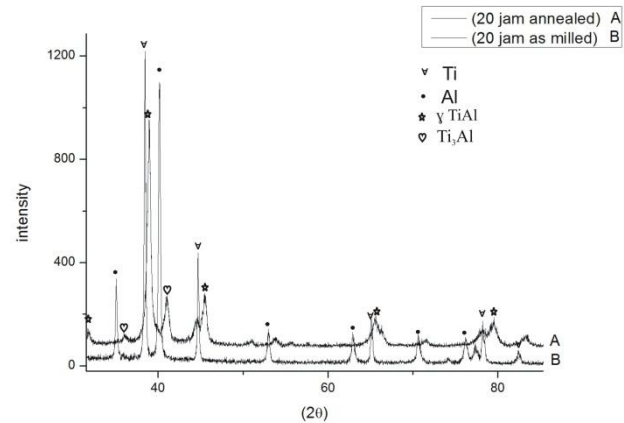
III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan dengan mengambil sampel hasil *mechanical alloying* masing-masing variabel sebanyak 1gram dan dilakukan dengan menggunakan alat PAN Analytical. Dari hasil uji ini dapat diketahui perubahan fasa hasil sintesa Ti+36%wt Al apakah telah terbentuk intermetalik γ (TiAl) pada masing-masing variabel. Pengujian dilakukan dengan sinar X pada range sudut 10^0 - 80^0 dan menggunakan panjang gelombang sebesar 1.54060 \AA .

Gambar 1 (A) Terlihat pada hasil XRD bahwa unsur yang ada hanya Ti dan Al yang mempunyai nilai 2θ masing-masing variabel *milling time* 0, 10 dan 20 jam sebesar 40.10 ; 40.20 ; 40.12 pada unsur Ti yang bersesuaian dengan (JCPDF #44-1294) dan nilai 2θ sebesar 38.46 ; 38.49 ; 38.42 pada unsur Al yang bersesuaian dengan (JCPDF #85-1327).

Gambar 1 (B) Perubahan terjadi pada unsur Ti dimana kurva semakin melebar serta ukuran kristalnya semakin kecil



Gambar 2 Ploting hasil XRD untuk perubahan fasa pada Ti+36%wtAl hasil *mechanical alloying* dengan *milling time* 20 jam dan *annealing* 9000C.

dengan penambahan *milling time* sehingga berubah menjadi semakin amorfus. Hasil *mechanical alloying* juga menyebabkan terbentuknya *solid solution* Ti(Al) karena partikel Al yang menyelimuti partikel Ti sehingga serbuk paduan Ti+36%wt Al semakin reaktif dalam pembentukan senyawa γ (TiAl)

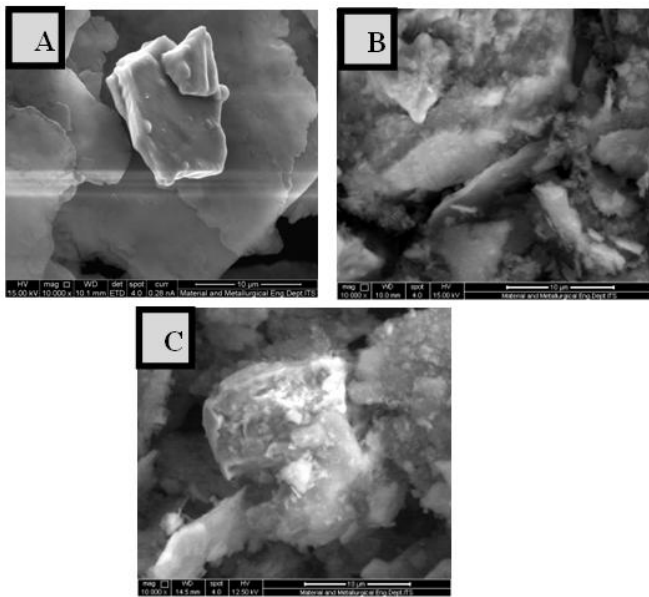
Gambar 2 menunjukkan perubahan kurva hasil XRD antara serbuk Ti+36%wtAl hasil *mechanical alloying* pada *milling time* 20 jam dengan Ti+36%wtAl hasil *milling time* 20 jam yang dilanjutkan dengan annealing 900°C selama 30 menit dimana dapat dilihat pada kurva hasil *milling time* 20 jam masih terdiri dari unsur Ti dan unsur Al yang mempunyai ukuran kristal lebih kecil dari *as received* sementara pada kurva hasil annealing 900°C menghasilkan senyawa γ TiAl yang mempunyai nilai 2θ sebesar 38.99^0 yang bersesuaian dengan (JCPDF#05-0678) dan menyisakan Ti_3Al yang mempunyai nilai 2θ sebesar 40.97^0 yang bersesuaian dengan (JCPDF# 09-0098)

3.2 Hasil pengujian SEM

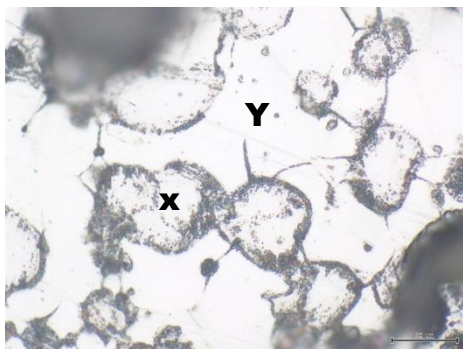
Gambar 3 (A) merupakan hasil SEM *as received* Ti+36%wt Al. Dari morfologi hasil pengamatan menggunakan SEM dapat dilihat bahwa unsur Ti mempunyai bentuk sferoid/bongkahan kecil sementara pada unsur Al mempunyai bentuk flake/pipih dimana masing-masing unsur masih belum ada ikatan kimia, hanya sebatas saling menyentuh antara partikel satu dengan yang lain oleh karena itu dibutuhkan *mechanical alloying* supaya terbentuk TiAl yang homogen yang berikatan antara partikel satu dengan yang lainnya.

Gambar 3 (B) merupakan morfologi dari serbuk Ti+36%wt Al dengan *milling time* 10 jam. Terlihat pada hasil SEM dengan perbesaran 1000x distribusi serbuk yang mulai merata antara partikel Ti dan Al, morfologi yang mulai berubah pada partikel aluminium yang awalnya berbentuk pipih/flake besar menjadi lebih kecil dan menempel pada partikel Titanium yang berukuran lebih kecil dari awalnya

Gambar 3 (C) merupakan morfologi dari serbuk Ti+36%wt Al dengan *milling time* 20jam. Dapat dilihat hasil SEM dengan perbesaran 1000x dimana partikel aluminium terdeformasi menjadi ukuran yang lebih kecil akibat tumbukan pada saat *mechanical alloying* sehingga partikel Al menempel



Gambar 3 Perbedaan morfologi serbuk paduan Ti+36%wtAl hasil uji SEM dengan perbesaran 10000x pada : (a) *milling time* 0 jam (b) *milling time* 10 jam, (c) *milling time* 20 jam.

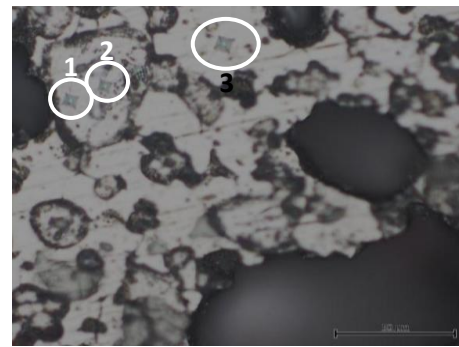


Gambar 4 Morfologi pellet hasil uji struktur mikro pada perbesaran 1000x paduan Ti+36%wt Al *milling time* 20 jam.

pada partikel titanium, hal ini mengakibatkan terjadinya ikatan antara partikel Al dengan Ti yang dapat menginisiasi terbentuknya TiAl metastabil dikarenakan adanya difusi antara partikel Al kedalam partikel Ti sehingga serbuk paduan lebih reaktif untuk berubah fasa, terlihat juga distribusi yang mulai merata antara partikel Ti dengan partikel Al akibat *mechanical alloying*.

3.3 Hasil uji struktur mikro dan uji mikrohardness Vickers

Gambar 4 menunjukkan morfologi pelet dengan *milling time* 20 jam hasil *mechanical alloying* yang dilanjutkan dengan kompaksi sebesar 3000 psi dan annealing pada temperatur 900°C selama 30 menit, fasa intermetalik γ -TiAl ditunjukkan pada daerah X sedangkan fasa Ti_3Al ditunjukkan pada daerah Y



Gambar 5 tapak tekan uji mikrohardness pada pellet hasil uji struktur mikro pada perbesaran 1000x paduan Ti+36%wt Al *milling time* 20 jam.

Gambar 5 menunjukkan daerah tapak tekan hasil mikrohardness Vickers pada pelet Ti+36%wt Al *milling time* 20 jam dimana nilai kekerasan pada fasa γ -TiAl (daerah X) titik 1 dan 2 masing-masing adalah 571.7HV dan 678.7HV sementara nilai kekerasan pada fasa Ti_3Al (Daerah Y) sebesar 439.1HV, hal ini dapat disimpulkan bahwa Dari pengujian kekerasan pada daerah X dan daerah Y paduan Ti-Al 36%wt dengan *milling time* 20 jam, kekerasan tertinggi terdapat pada daerah X yaitu mencapai 678,1HV, melebihi nilai kekerasan unsur Al, Cu, Nikel murni sehingga senyawa intermetalik γ -TiAl berpotensi dijadikan *reinforced* pada *metal matrix composite*.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pembuatan sintesa Ti-Al melalui proses *mechanical alloying* menggunakan alat *modification horizontal ball mill* dilanjutkan dengan annealing pada temperatur 900°C serta holding time 30 menit serta karakteristiknya, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa *Miling time* hingga 20 jam pada kecepatan 350rpm menyebabkan reduksi ukuran kristal Ti menjadi $409.31 \times 10^{-10}m$ dari $990.52 \times 10^{-10}m$, serta menghasilkan Ti(Al) solid solution, hal ini sesuai dengan penelitian dari forouzanmer dkk bahwa semakin lama *milling time* akan mereduksi ukuran kristal masing-masing unsur [9]. Sementara hasil dari *milling time* 20 jam yang kemudian dilanjutkan dengan kompaksi dan annealing 900°C selama 30 menit menghasilkan senyawa intermetalik γ -TiAl akan tetapi masih menyisakan fasa Ti_3Al . Dari hasil pengujian mikrohardness terhadap fasa γ -TiAl menunjukkan nilai kekerasan sebesar 678,1HV lebih besar dari Al,Cu,Ni [10] sehingga senyawa γ -TiAl ini berpotensi sebagai *reinforced* pada *metal matrix composite*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T.W. Clyne, P.J. Withers, "An Introduction to Metal Matrix Composites", 1993, Cambridge University Press, UK.
- [2] Sulistijono, "Mekanika Material Komposit", 2012, Surabaya, Indonesia.
- [3] C.Suryanarayana, "Mechanical alloying and milling", 2001, Departement of metallurgical and materials engineering, colorado school of mines, golden, CO 80401-1887, USA progress in materials science 46, 1-184
- [4] Kwan, S. I. dan Lee, Wonsik, The effect of the process control agents on mechanical alloying mechanisms in the

- Ti-Al system, 1996, *Journal of Alloys and Compound* 240 : 193 – 199.
- [5] Lütjering G. Influence of processing on microstructure and mechanical properties of ([alpha]+[beta]) titanium alloys. 1998, *Mater Sci Eng A*;243:32–45
 - [6] Janataka, B dan hariyati, “Pengaruh Kecepatan Dan Waktu *Milling* Terhadap Pembentukan Fasa Intermetalik Γ -TiAl Hasil *Mechanical Alloying* Menggunakan *Modification Horizontal Ball Mill*”, 2012, Laporan Tugas Akhir Teknik Material dan Metalurgi ITS. Surabaya
 - [7] G.Q.Wu dkk, “Dendritic structural transformation of laser surface remelted γ -TiAl based alloy during post-heat treatment”, 2005, University of Aeronautics and Astronautic, China
 - [8] *ASTM E384-99 Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials*, 2000 ASTM International, USA
 - [9] N. Forouzanmehr dkk, “Study on solid-state reactions of nanocrystalline TiAl synthesized by mechanical alloying”, 2009, Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
 - [10] *ASM Handbook, Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, 1990, ASM International Volume 2 of the 10 edition Metals Handbook, USA.